



PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRA-SONORAS PELO MÉTODO SEMI-DIRETO EM PAINÉIS AGLOMERADOS MADEIRA-BAMBU

STANGERLIN, Diego Martins¹; MELO, Rafael Rodolfo de¹; GATTO, Darci Alberto²; CALEGARI, Leandro³; BELTRAME, Rafael⁴; SCHNEID, Eduardo⁵

¹Engenheiro Florestal, M.Sc., Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade de Brasília - UnB. diego_stangerlin@yahoo.com.br

²Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto do Curso de Engenharia Industrial Madeireira - UFPel, Cx. Postal 354 – CEP 96019-900 Pelotas (RS). darcigatto@yahoo.com

³Engenheiro Florestal, Dr., em Ciências Florestais pela UFV. leandrocalegari@yahoo.com.br

⁴Engenheiro Florestal, Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. browbeltrame@yahoo.com.br

⁵Bolsista PIBIC, Aluno do Curso de Engenharia Industrial Madeireira - UFPel. edward_ykz@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade uma das tendências mais evidentes na indústria madeireira é a expansão da produção de painéis à base de madeira. Estes têm se mostrado importante alternativa em relação à madeira serrada devido ao aproveitamento de quase 100% da tora, de espécies de rápido crescimento e de baixa massa específica (Morales, 2006).

As chapas aglomeradas podem ser produzidas a partir de qualquer material lignocelulósico que lhes confirmam alta resistência mecânica e massa específica pré-estabelecida. Além da madeira, podem ser utilizadas na confecção de compósitos aglomerados outras fontes de fibras, como bagaço de cana-de-açúcar, bambu, casca de arroz, aparas de papel reciclado, dentre outros (Melo et al., 2009).

A utilização de métodos não-destrutivos (NDT) para a avaliação das propriedades da madeira e de seus sub-produtos é bastante difundida, e remonta desde a década de 1960 (JAYNE, 1959), no Brasil essa técnica começou a ser estudada apenas no final da década de 1990. Os métodos NDT podem ser definidos como sendo aqueles que identificam propriedades de materiais sem alterar sua capacidade de uso, para em seguida usar essa informação na tomada de decisão com relação a uma aplicação final. (Pellerin & Ross, 2002).

Segundo Stangerlin et al. (2008), diversos pesquisadores têm demonstrado a viabilidade do uso do ultrassom para estimativa das propriedades mecânicas da madeira. Para materiais compostos, Del Menezzi et al. (2005) cita que diversos estudos têm demonstrado que métodos NDT baseados na velocidade de propagação de ondas podem ser adequadamente utilizados para a predição de propriedades mecânicas.

Com o objetivo de avaliar o emprego de técnicas ultra-sonoras para estimar as propriedades mecânicas de painéis aglomerados, estabeleceu-se no presente estudo, a correlação do módulo de elasticidade de painéis aglomerados madeira-bambu obtido por ensaios destrutivos de flexão estática e não-destrutivo com ultrassom.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para confecção dos painéis madeira-bambu foram utilizadas partículas de madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e do bambu *Bambusa vulgaris* Schr. A madeira de *Eucalyptus grandis* foi obtida de três árvores plantadas em povoamentos florestais homogêneos de aproximadamente 15 anos, enquanto que os colmos de *Bambusa vulgaris* foram obtidos de aproximadamente 50 exemplares, ambos localizados em áreas da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), na cidade de Santa Maria, RS.

Os painéis madeira-bambu foram confeccionados com cinco diferentes proporções de partículas e colados com uréia-formaldeído. Ao todo, foram confeccionados 20 painéis aglomerados, sendo quatro para cada tratamento (T1= 100% madeira; T2= 75% madeira + 25% bambu; T3= 50% madeira + 50% bambu; T4= 25% madeira + 75% bambu; T5= 100% bambu), com dimensões de 50 x 50 x 0,95 cm e massa específica de 0,70 g/cm³.

Antecedendo os ensaios, determinou-se a massa específica (g/cm³) de cada painel por meio da relação entre massa (g) e volume (cm³). Para tanto, utilizaram-se balança eletrônica e paquímetro digital, precisão de 0,01 g e 0,01 mm, respectivamente.

Os ensaios não-destrutivos foram realizados com equipamento portátil de ultrassom, dotado de transdutores de pontos secos com frequência de aproximadamente 50 kHz, que medem diretamente o tempo de propagação das ondas, em microssegundos (μ s). A determinação do tempo de propagação das ondas foi realizada pelo método de transmissão semi-direto. Em cada painel foram demarcados seis pontos de avaliação do tempo de propagação da onda, conforme se pode visualizar na Figura 1.

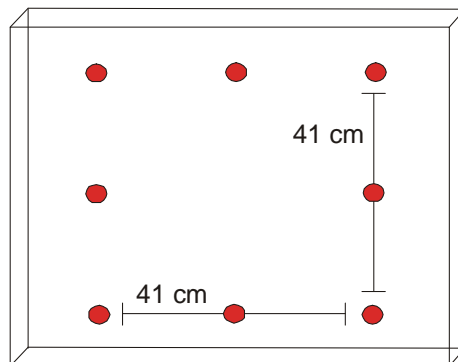


Figura 1. Metodologia para avaliação do tempo de propagação da onda ultra-sonora.

Realizaram-se, em cada ponto, duas leituras do tempo de propagação da onda, a partir da razão entre a média das leituras e o comprimento do trecho percorrido pela onda, calculou-se a velocidade de propagação, em metros por segundo (m/s).

O módulo de elasticidade dinâmico, de cada painel, foi obtido pelo produto dos valores médios da velocidade de propagação da onda com a massa específica.

Para avaliação da acurácia do emprego do ultrassom foram retiradas, de cada painel, seis amostras, com dimensões nominais de 0,95 x 7,5 x 29 cm (espessura, largura e comprimento), sendo estas submetidas a ensaios destrutivos de flexão estática, adotando recomendações da norma ASTM D1037 (1998).

Os resultados foram interpretados, com auxílio de testes de médias (LSD Fisher, $p > 0,05$) e análise de regressão linear, em que a variável independente foi o módulo de elasticidade dinâmico obtido em ensaio de ultrassom e a variável dependente foi o módulo de elasticidade estático obtido em ensaio de flexão estática.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O módulo de elasticidade dinâmico (MOE_{din}) obtido pelo método ultra-sonoro foi inferior ao módulo de elasticidade estático (MOE_{est}) verificado pelo ensaio destrutivo (Tabela 1), resultado contrário ao registrado por Morales (2006) ao estudar painéis OSB. Na caracterização do comportamento mecânico da madeira sólida, comumente, são verificados valores de MOE_{din} superiores ao MOE_{est} , devido a sua natureza visco-elástica (Stangerlin et al., 2008). Castellanos (2003) reporta um quociente de 1,25 a 1,28 entre MOE_{din} e MOE_{est} para painéis aglomerados de diferentes espécies, no entanto para os painéis aglomerados madeira-bambu esse quociente oscilou entre 0,65 e 0,45. Segundo Han et al. (2006), este comportamento pode ser explicado pela existência de espaços vazios e descontinuidades em materiais compostos, como aglomerados, que podem influir na propagação da onda, dissipando-a e aumentando o tempo da propagação. Além disso, pode-se observar que as médias de MOE, obtidas pelas duas metodologias, diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de confiança.

Grundström (1998), estudando a propagação de ondas ultra-sonoras em painéis aglomerados com partículas de coníferas coladas com resina uréia formaldeído e massa específica de $0,68 \text{ g/cm}^3$ encontrou valores médios de MOE_{din} de 2300 MPa. Esse resultado descrito pelo autor é cerca de duas vezes maior ao verificado no presente estudo considerando a propagação da onda nos cinco diferentes painéis fabricados.

A adição das partículas de bambu ocasionou decréscimo no MOE_{est} dos painéis, sendo o painel 1 (100% madeira) estatisticamente diferente dos demais, ao nível de 95% de confiança. Para as avaliações com ultrassom, não se verificou comportamento definido quanto à adição de bambu, no entanto da mesma forma que nas avaliações destrutivas o painel 1 diferiu estatisticamente dos demais. Baseando-se na norma ANSI A208.1 (ANSI, 1987), somente os painéis 1 e 2 obtiveram valores de MOE_{est} acima do mínimo requerido de, aproximadamente, 1760 MPa.

Tabela 1. Valores médios de MOE_{est} e MOE_{din} obtidos para cada painel.

Painel	MOE_{est} (MPa)	MOE_{din} (MPa)	MOE_{din}/MOE_{est}
1	2472,46 ^{A a}	1112,92 ^{B a}	0,45
2	1862,18 ^{A b}	991,251 ^{B ab}	0,53
3	1662,30 ^{A c}	783,508 ^{B c}	0,47
4	1528,81 ^{A c}	889,052 ^{B bc}	0,58
5	1285,14 ^{A d}	832,475 ^{B bc}	0,65

Em que: Médias seguidas na horizontal, por uma mesma letra maiúscula ou na vertical, por uma mesma letra minúscula, não diferem estatisticamente entre si pelo teste LSD Fisher, $p > 0,05$.

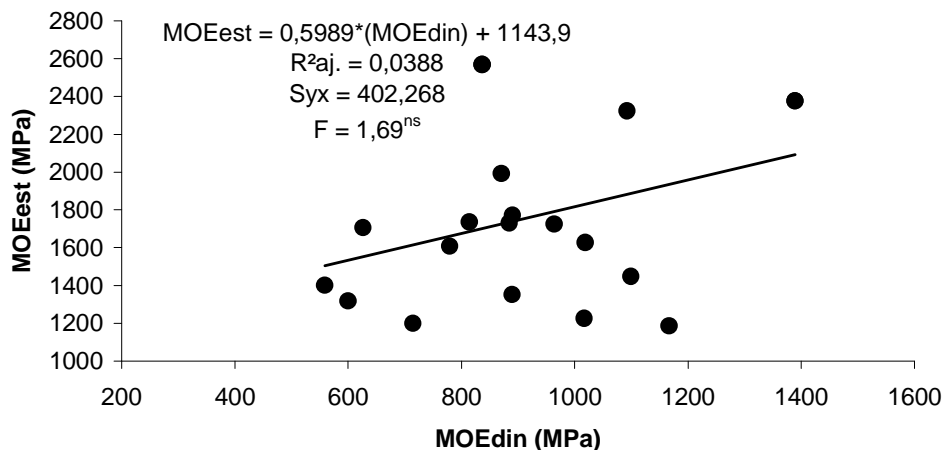


Figura 2. Correlação entre as médias do MOE_{est} e o MOE_{din} obtidos em cada painel.

Na Figura 2, verifica-se que o MOE_{din}, determinado pelo método de transmissão semi-direto da onda ultra-sonora, não foi um bom estimador do MOE_{est}. O modelo estatístico gerado não apresentou um bom ajuste, sendo não significativo, além disso, apresentou baixo valor de coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) e alto valor de erro padrão de estimativa (S_{yx}). Nzokou et al. (2006) concluíram que o método de propagação de ondas de tensão pode não ser apropriado para avaliações não-destrutivas de materiais compostos, visto que não observaram correlação entre o MOE_{din} e MOE_{est} em painéis madeira-plástico.

4. CONCLUSÕES

O método ultra-sonoro, por meio da transmissão semi-direta, não foi uma importante ferramenta para inferência não-destrutiva do MOE dos painéis aglomerados madeira-bambu. No entanto, não se deve descartar o uso do ultrassom, visto que métodos de transmissão direta podem proporcionar melhores resultados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE – ANSI-A-208.1-87. **Mat-formed wood particleboard**. New York, 1987.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM D-1037. Standard test methods for evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials. **Annual Book of ASTM Standards**, Philadelphia, v.04.09, 1998.

DEL MENEZZI, C.H.S. et al. Avaliação não-destrutiva de painéis OSB modificados termicamente: parte 1- efeito do tratamento térmico sobre a velocidade de propagação de ondas de tensão. **Scientia Forestalis**, n.76, p.67-75, 2007

GRUNDSTRÖM, F. **Non-destructive testing of particleboard with ultra sound and eigen frequency methods**. Dissertação (Mestrado), Luleå Tekniska Universitet/Programme in Mechanical Engineering. Skellefteå, Norway. 58f. 1998.

HAN, G. et al. Stress-wave velocity of wood-based panels: effect of moisture, product type and material direction. **Forest Products Journal**, v.56, n.1, p.28-33, 2006.

JAYNE, B.A. Vibrational properties of wood as indices of quality. **Forest Products Journal**, v.9, n.11, p. 413-416, 1959.

MELO, R.R. **Propriedades físico-mecânicas e resistência a biodeterioradores de chapas aglomeradas constituídas por diferentes proporções de madeira e casca de arroz**. Dissertação (Mestrado), UFSM/PPGEng. Florestal. Santa Maria-RS. 77f. 2009.

MORALES, E.A.M. **Técnicas de propagação de ondas na estimativa de propriedades mecânicas de painéis OSB**. Dissertação (Mestrado). USP/PPGInterunidades Ciência e Engenharia de Materiais, São Carlos-SP. 94f. 2006.

NZOKOU, P. et al. Relationship between non-destructive and static modulus of elasticity of commercial wood plastic composites. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v.64, n.1, p.90-93, 2006.

PELLERIN, R.F.; ROSS, R.J. **Nondestructive evaluation of wood**. Madison: Forest Products Laboratory, 2002. 210p.

STANGERLIN, D.M. et al. Determinação do módulo de elasticidade em madeiras por meio de métodos destrutivo e não-destrutivo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.3, n.2, p.145-150, 2008.